Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 1, Apr. May. 2018, p. 48- 58

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 1، فروردین-اردیبهشت 1397، ص. 58-48

ارزیابی ماندگاری گوجه‌فرنگی پرتودیده در ترکیب با پوشش پلی‌اتیلن به کمک تکنیک آکوستیک

حسینعلی تاش شمس‌آبادی[*1]- سیده هدی یوسفیان[2]- آیت محمد رزداری[3]

تاریخ دریافت: 1395/06/24
تاریخ پذیرش: 1395/10/16

چکیده

در این پژوهش گوجه‌فرنگی با دزهای 0 (کنترل)، 0/25، 0/5 و 1 کیلوگری پرتودهی و با استفاده از پوشش پلی‌اتلین بسته‌بندی شد. آزمایشات در هر 7 روز بر نمونه‌ها صورت گرفت. نتایج نشان داد که با گذشت زمان انبارداری 21 روز، نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد و بدون پوشش به مقدار 22/53 و 12/34 درصد به‌ترتیب دارای جرم و جرم حجمی بیشتر و به میزان 26/58 درصد دارای فرکانس رزونانسی بیشتر است. همچنین این نمونه نسبت به نمونه پرتودهی‌شده با دز 1 کیلوگری و نمونه شاهد در پوشش پلی‌اتیلن به میزان 37/74 و 26/48 درصد دارای مدول الاستیسیته بیشتر و 25 و 18/12 درصد نیز دارای سفتی بیشتری است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، حداکثر نیروی نفوذ در آزمون مخرب رابطه نسبتاً قوی با پارامترهای بدست‌آمده از آزمون آکوستیک شامل فرکانس رزونانسی، ضریب استحکام، مدول الاستیسیته به‌ترتیب با ضرایب تبیین به مقدار 0/893، 0/913 و 0/886 داشت. با توجه نتایج، پرتودهی در ترکیب با پوشش پلی‌ایتلن روشی مناسب به‌منظور حفظ بافت گوجه فرنگی است و آکوستیک نیز روشی مناسب و جایگزین برای آزمون نفوذ است.

واژه‌های کلیدی: آکوستیک، پرتودهی گاما، پلی‌اتیلن، سفتی، گوجه‌فرنگی.

مقدمه

گوجه‌فرنگی پس از سیب‌زمینی دومین محصول سبزیجاتی مهم در دنیاست. امروزه گوجه‌فرنگی هم به‌صورت تازه و هم به‌صورت کنسروی در تولید آب گوجه‌فرنگی، رب، کچاپ و پوره مصرف می‌گردد (Lai *et al*., 2007). ایران با داشتن حدود 150 هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید 5 میلیون و 800 هزار تن گوجه فرنگی در سال، هفتمین تولیدکننده این محصول در جهان به شمار می‌رود (FAO, 2014).

روش‌های معمول فرآوری و نگهداری مواد غذایی مانند استفاده از افزودنی‌ها و نگهدارنده‌ها و یا فرآیندهای گرمایی مانند پاستوریزاسیون موجب از دست‌رفتن ارزش غذایی، تغییر ویژگی‌های حسی و اثرات منفی بر سلامت مصرف‌کننده می‌شود. امروزه روش‌های فرآیند و نگهداری غیرسنتی به سرعت در حال گسترش می‌باشد (اهری مصطفوی و همکاران، 1390). از روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی از قبیل فرآیندهای مختلف حرارتی، مصرف مواد شیمیایی، دوددهی و پرتودهی به‌عنوان روش‌هایی برای حفظ مواد غذایی استفاده می‌کنند. با فرآوری مواد غذایی به روش پرتودهی اشعه گاما و نگهداری محصولات با اشعه‌دهی در حد مطلوب، مواد غذایی عاری از وجود باکتری‌های بیماری‌زا، مخمرها، کپک‌ها و حشرات شده و رسیدگی، پیری و جوانه‌زنی میوه‌ها و سبزی‌ها کنترل می‌شود. ترکیبات شیمیایی مواد غذایی در جهت بهبود کیفیت مواد غذایی تغییر پیداکرده و در نهایت بعد از پرتودهی هیچگونه سمی در مواد غذایی باقی نمی‌ماند (Mawahib *et al*., 2014).

فرآیند بسته‌بندی موقعیت خاصی را در صنایع غذایی به‌خود اختصاص داده است. انتخاب مواد و سیستم های بسته‌بندی مناسب بخش جدایی‌ناپذیر در فرآوری غذا و طراحی محصول است (Emamifar *et al*., 2011). محققان در حال بررسی انواع متفاوتی از پلیمرها به‌عنوان فیلم پایه برای تولید این نوع بسته‌بندی هستند. پلی‌اتیلن با طیف گسترده‌ای از خواص فیزیکی در بسیاری از موارد کاربرد دارد. دلیل اساسی انطباق آن با کاربردهای گوناگون، در پیکربندی نیمه بلورین آن نهفته است که می‌تواند در کنترل متغیرهای مولکولی و فرآیندی باشد (Bruna *et al*., 2012). در

1- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
2- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
3- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد.
(* - نویسنده مسئول: Email: h.shamsabadi.gu@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.58861

بررسی انجام‌شده توسط سامی و مسعود (2007) آشکار شد که سیستم‌های مختلف بسته‌بندی بر زمان ماندگاری و کیفیت گوجه‌فرنگی در طول مراحل مختلف رسیدن تأثیرگذار است. گوجه‌فرنگی‌های سبز در بسته‌های پلی‌اتیلن در مجاورت با کلرید کلسیم، اسید بوریک و پرمنگنات پتاسیم بسته‌بندی شدند، که سبب بهبود عمر انبارداری تا بالای 96 روز در مقایسه با شاهد شد.

بسیاری از ویژگی‌های پس از برداشت گوجه‌فرنگی مانند زمان ماندگاری و کیفیت خوراکی آن، وابسته به مناسب بودن زمان برداشت می‌باشند. بنابراین در صورتی که امکان تعیین کیفیت درونی محصول فراهم گردد، می‌توان به‌طور غیرمستقیم زمان برداشت محصول را پیش‌بینی نمود. روش‌های متداول برای بررسی کیفیت درونی میوه‌ها شامل بصری، حسی و یا روش مخرب می‌باشند (Studman, 2001).

یکی از روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت درونی و یا رسیدگی میوه‌هایی مانند گوجه‌فرنگی، بررسی رفتار صوتی آن‌ها است. ضمناً تکنیک‌های غیرمخرب مبتنی بر آنالیز سیگنال‌های صوتی، برای ارزیابی کیفیت درونی میوه‌هایی مثل سیب، گلابی، آووکادو، خربزه و هندوانه استفاده شده‌اند (Shmulevich *et al*., 2003, Yurttas *et al*., 2014). از جمله خصوصیات مهم مکانیکی گوجه‌فرنگی، سفتی بافت درونی آن می‌باشد که همبستگی زیادی با پارامترهای صوتی بافت دارد (Diezma *et al*., 2004, Sun *et al*., 2010).

استفاده از روش‌های صوتی- ارتعاشی علاوه بر تعیین کیفیت درونی هندوانه به‌منظور ارزیابی مقدار رسیدگی آن، برای ارزیابی نقص‌ها و خرابی‌های داخلی آن نیز قابل کاربرد است (Diezma *et al*., 2004). همچنین آنالیزهای کیفی انجام گرفته روی محصولات کروی شکل نشان داده است که بهترین سیگنال تولیدی زمانی به دست می‌آید که دریافت‌کننده فرکانس صوتی با فاصله‌ای معادل 0 و یا 180 درجه نسبت به محل اعمال ضربه قرار داشته باشد (Polder *et al*., 2002).

با توجه به کارآمد بودن روش پرتودهی، پوشش‌دهی و همچنین بالابردن صرفه اقتصادی، ترکیب پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن به‌منظور افزایش ماندگاری گوجه‌فرنگی تازه در انبارها و افزایش صادرات از اهداف اصلی این تحقیق به‌شمار می‌رود. اهداف فرعی نیز شامل موارد زیر است:

- تأثیر ترکیبی از پوشش پلی‌اتیلن و دز پرتودهی بر جرم، جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه؛
- تأثیر ترکیبی از پوشش پلی‌اتیلن و زمان ذخیره‌سازی بر جرم، جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه؛
- تأثیر ترکیبی از زمان ذخیره‌سازی و دز پرتودهی بر جرم، جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه؛
- تأثیر ترکیبی سه‌گانه پوشش پلی‌اتیلن، زمان ذخیره‌سازی و دز پرتودهی بر صفات اندازه‌گیری یادشده.

مواد و روش‌ها

آماده سازی و پرتودهی نمونه گوجه‌فرنگی

گوجه‌فرنگی رقم روما مورد استفاده در این آزمایش از فروشگاه سازمان انرژی اتمی ایران خریداری گردید. به‌منظور انجام آزمایشات 300 عدد نمونه انتخاب و وزن متوسط نمونه‌ها 67 گرم بدست آمد و محصول پس از برداشت به مدت یک هفته در سردخانه با دمای 4 درجه سانتی‌گراد، به‌منظور جلوگیری از تغییرات شیمیایی و درون‌بافتی نگهداری شد. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد تا حد ممکن از نظر شکل و اندازه یکسان باشند تا از تأثیر تغییرات حاصل از تفاوت اندازه آن‌ها کاسته شود. بر همین اساس ابعاد نمونه‌ها (سه قطر عمود بر هم) با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و ثبت شد. نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی استریل، به‌منظور پرتودهی بسته‌بندی گردید. برای پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت 60 (گاماسل 220) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای 0 (کنترل)، 0/25، 0/5 و 1 کیلوگری پرتودهی، سپس به آزمایشگاه منتقل و در یخچال با دمای 1±6 درجه سانتی‌گراد رطوبت نسبی 4±65 درصد به مدت 21 روز نگهداری شدند. آزمایشات در هر 7 روز بر نمونه‌ها صورت گرفت (Mawahib *et al*., 2014).

بسته‌بندی پلی‌اتیلن

به‌منظور بسته‌بندی، پوشش پلی‌اتیلن با چگالی متوسط (ضخامت 0/3 میلی‌متر و عمق و عرض، به‌ترتیب 6/5 و 19 سانتی‌متر) از پژوهشگاه پلیمر ایران تهیه گردید.

جرم و جرم حجمی میوه

جرم نمونه‌های گوجه‌فرنگی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری شد. جرم حجمی نمونه‌ها نیز توسط روش جابجایی آب بدست آمد که در آن حجم محصول از تقسیم نیروی شناوری (جرم آب جابجاشده) بر دانسیته آب (رابطه1) بدست آمد:

$$V = \frac{M_{dw}}{\rho_w} \quad (1)$$

آماده‌سازی تحلیل‌گر صوتی حاصل از اعمال ضربه

آزمایش‌های صوتی با استفاده از سامانه آزمون ضربه‌ای انجام گردید. این سامانه محفظه‌ای آلومینیومی و از داخل با چوب و ابرهایی پوشیده شده بود. سامانه از داخل مجهز به محل استقرار نمونه در کف، مکانیزم ضربه‌زن و دریافت‌کننده سیگنال بود. در این سامانه تحریک

صوتی نمونه‌های با کمک ضربه انجام شد. با اعمال ضربه به سطح نمونه، سیگنال صوتی به درون نمونه ارسال گردیده و سپس توسط یک گیرنده (میکروفون) که در فاصله 7 میلی‌متری نسبت به نمونه قرار داده شده بود، میزان سیگنال‌های خروجی اندازه‌گیری شد. ارتفاع قرارگیری نمونه طوری تنظیم شد که در صورت قرارگیری نوک ضربه‌زن چوبی روی سطح آن، زاویه میله ضربه‌زن نسبت به سطح افق 15 درجه باشد. در این تحقیق میزان فاصله عمودی ضربه‌زن تا سطح میوه 142/30 میلی‌متر و میزان شدت ضربه وارده $10/036\ kg\ mm\ s^{-1}$ بدست آمد. در نهایت سیگنال‌های صوتی بدست آمده توسط نرم‌افزار تحلیل فرکانس (Sound Analyzer) تجزیه و تحلیل شد. با استفاده از فرکانس تشدید و با توجه به رابطه (2) ضریب استحکام گوجه‌فرنگی محاسبه گردید (Mami *et al*., 2014).

$$S = f^{2}.m^{\frac{2}{3}} \qquad (2)$$

که در این رابطه S= ضریب استحکام، f= فرکانس تشدید (Hz) و m= جرم نمونه (g) می‌باشد.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته ضریب استحکام و مدول الاستیسیته ارتباط معنی‌داری با سفتی نمونه‌ها دارد (Galili, and Baerdemaeker, 1996). پس از تعیین فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته از رابطه (3) محاسبه شد (Cooke and Rand, 1973):

$$EC = f^{2}m^{\frac{2}{3}}\rho^{\frac{1}{3}} \qquad ()$$

که، EC مدول الاستیسیته (Pa) و ρ جرم حجمی (kg/m^3) می‌باشد.

آزمون نفوذ

به‌منظور بررسی سفتی نمونه، نمونه‌ها از نقطه مقابل محل ضربه با دستگاه اینسترون مدل (STM) مورد آزمون نفوذ قرار گرفتند. بدین منظور از یک پروب به قطر 8 میلی‌متر با سرعت حرکت پروب 20 میلی‌متر بر دقیقه استفاده گردید. حداکثر عمق نفوذ 10 میلی‌متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی نفوذ به‌عنوان سفتی نمونه مورد استفاده قرار گرفت (Tamure and Teryaki, 2012).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های بدست‌آمده با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه فاکتور دز پرتودهی (0، 0/25، 0/5 و 1 کیلوگری)، زمان نگهداری (0، 7، 14 و 21 روز) و پوشش بسته‌بندی (بدون پوشش و پلی اتیلن) می‌باشد و در 5 تکرار به اجرا در آمد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS.20 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همبستگی میان پارامترهای حاصل از ضربه و سفتی حاصل از آزمون نفوذ با استفاده از رگرسیون در نرم‌افزار Excell. 2013 بررسی شده و مدل مناسب جهت تعیین سفتی گوجه‌فرنگی بدست آمد.

نتایج و بحث

تغییرات جرم و جرم حجمی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول1)، اثرات اصلی دز پرتودهی، پوشش پلی‌اتیلن و مدت زمان ذخیره‌سازی در سطح 1 درصد و اثرات متقابل تمامی آن‌ها بر روی تغییرات جرم در سطح 5 درصد معنی‌دار هستند. همچنین اثرات اصلی دز پرتودهی، پوشش پلی‌اتیلن و مدت زمان ذخیره‌سازی به‌ترتیب در سطح 1 و 5 درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح 5 درصد بر روی متغیر جرم حجمی معنی‌دار شدند. با گذشت مدت زمان انبارداری و افزایش مقدار دز پرتودهی، جرم و جرم حجمی نمونه‌ها در طول 21 روز کاهش یافته است. با گذشت زمان انبارداری 21 روز، نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد و بدون پوشش به مقدار 22/53 و 12/34 درصد دارای جرم و جرم حجمی بیشتر است. کاهش جرم به علت کاهش ماده خشک، فعالیت‌های متابولیکی، تنفس و تعرق رخ می‌دهد (Rosenthal, 1999). شدت تنفس در میوه‌ها و سبزیجات در اثر رسیدن افزایش می‌یابد که سبب کاهش ذخیره مواد غذایی محصولات و کاهش جرم می‌شود (شکل1) (اهری مصطفوی و همکاران، 1390). از مهمترین عوامل کاهش در طی پرتودهی می‌توان به تلفات آب به دلیل جذب انرژی ناشی از امواج اشاره کرد (اهری مصطفوی و همکاران، 1390). همچنین طبیعت نفوذپذیری مواد بسته‌بندی رطوبت نسبی درون بسته‌ها را تغییر می‌دهد که منجر به کاهش اتلاف رطوبت و میزان تنفس محصول می‌شود. کاهش میزان تنفس سبب پایین آمدن درصد کاهش وزن محصول می‌شود (Kader and Watkins, 2000).

تغییرات فرکانس رزونانسی

بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول1)، اثرات اصلی دز پرتودهی، پوشش پلی‌اتیلن و مدت زمان ذخیره‌سازی به‌ترتیب در سطح 1 و 5 درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح 5 درصد بر روی فرکانس رزونانسی حاصل از اعمال ضربه معنی‌دار بودند. با توجه به نتایج نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن نسبت به نمونه شاهد بدون پوشش و نمونه پرتودهی‌شده با دز 1 کیلوگری، فرکانس رزونانسی به میزان 26/58 و 14/10 درصد بیشتر حاصل شد (شکل2).

جرم میوه یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر فرکانس رزونانسی

میوه می‌باشد. اما با توجه به اینکه تغییر وزن می‌تواند مستقل یا وابسته به اندازه میوه تغییر کند، بر این اساس رابطه فرکانس و جرم حجمی مورد بررسی قرار گرفت. وانگ و همکاران (2006) بیان کردند که کیوی‌هایی با سفتی نسبتاً یکسان دارای جرم حجمی نزدیک به هم هستند. در نتیجه با ثابت بودن جرم حجمی، کیوی‌های با وزن بیشتر دارای حجم بیشتر نیز بوده و از این رو صوت با سرعت بیشتری میرا می‌شود که منجر به کاهش فرکانس و دامنه آن شد.

با توجه شکل (2) که میانگین تغییرات فرکانس رزونانسی را تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن نشان می‌دهد، با افزایش دز پرتودهی تا 1 کیلوگری، جرم کاهش‌یافته و جرم حجمی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه صوت در زمان کوتاه‌تر میرا شده و فرکانس رزونانسی و دامنه کاهش می‌یابد (Mawahib *et al*., 2014). اما در مقابل پوشش پلی‌اتیلن از کاهش جرم و جرم حجمی در نمونه‌ها جلوگیری کرده و بهترین ترکیب از دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن، نمونه‌های پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری در پوشش پلی‌اتیلن دارای بالاترین میزان جرم و جرم حجمی، و دارای بالاترین میزان فرکانس رزونانسی هستند.

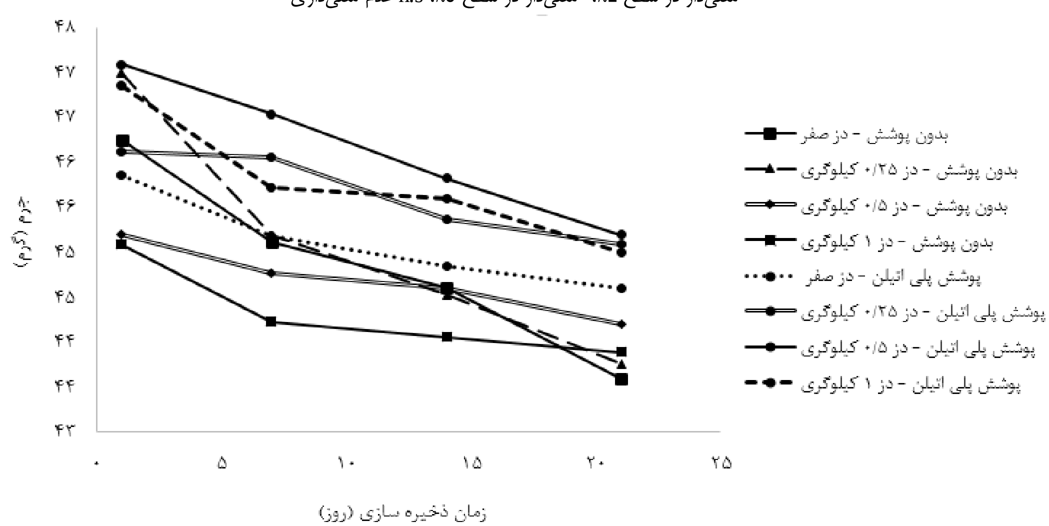
تغییرات مدول الاستیسیته و ضریب استحکام

بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن بر روی متغیرهای وابسته (جدول1)، اثرات اصلی دز پرتودهی، پوشش پلی‌اتیلن و مدت زمان ذخیره‌سازی در سطح 5 درصد معنی‌دار شده و اثرات متقابل آن‌ها بر روی متغیر مدول الاستیسیته در سطح 5 درصد معنی‌دار شد. نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن که دارای بهترین نتایج بود، نسبت به نمونه پرتودهی شده با دز 1 کیلوگری و نمونه شاهد در پوشش پلی‌اتیلن به میزان 37/74 و 26/48 درصد دارای مدول الاستیسیته بیشتری است (شکل3).

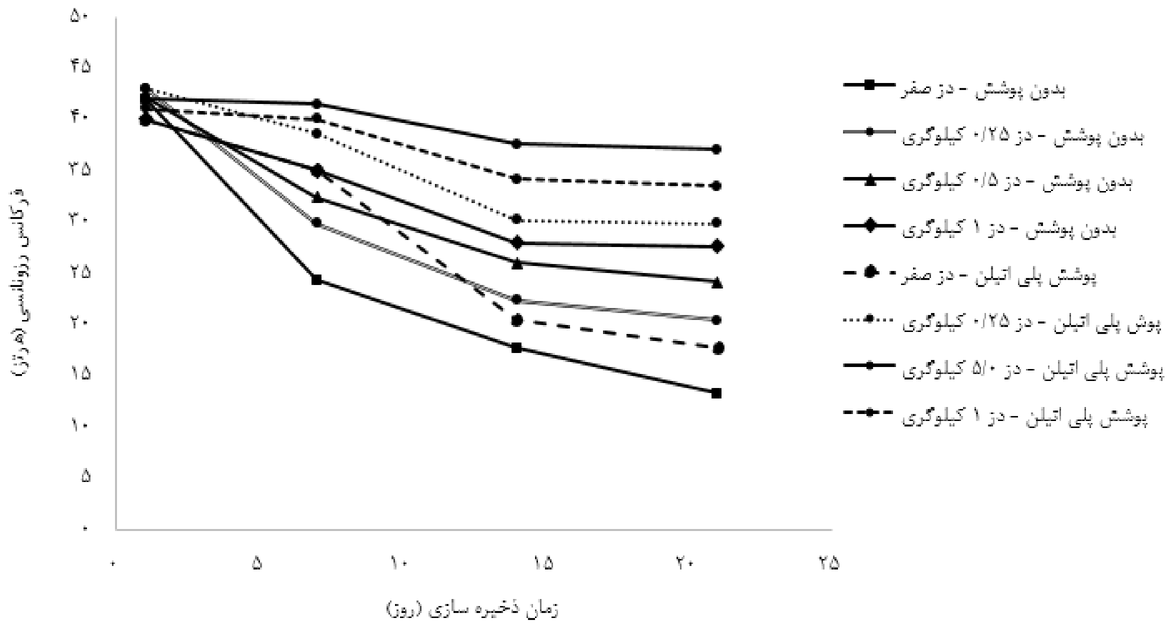
جدول1- تجزیه واریانس اثر دز پرتودهی، پوشش پلی‌اتیلن و زمان ذخیره‌سازی روی متغیرهای وابسته

منابع تغییرات	درجه آزادی	جرم	جرم حجمی	فرکانس رزونانسی	مدول الاستیسیته	ضریب استحکام	سفتی
پرتودهی (P)	3	42/15**	1024**	49/31**	76/41*	78/64*	53/18*
پوشش‌دهی (C)	1	34/73**	1327*	50/61*	80/82*	81/37*	49/70**
زمان ذخیره‌سازی (T)	3	36/45**	1009*	48/43*	81/91*	79/34**	48/40**
C × P	3	37/35**	1009*	43/73*	79/01n.s	75/13*	46/64*
T × P	9	43/14*	1037*	43/17*	77/30*	79/36*	48/03*
T × C	3	40/23**	1423**	47/33*	77/37**	78/42*	48/90*
T × C × P	3	38/07*	1239*	45/63*	79/31*	76/21*	47/63*
خطا	48	0/003	0/007	0/006	0/007	0/006	0/004
ضریب تغییرات (٪)	-	3/21	1/71	4/37	5/12	4/63	4/34

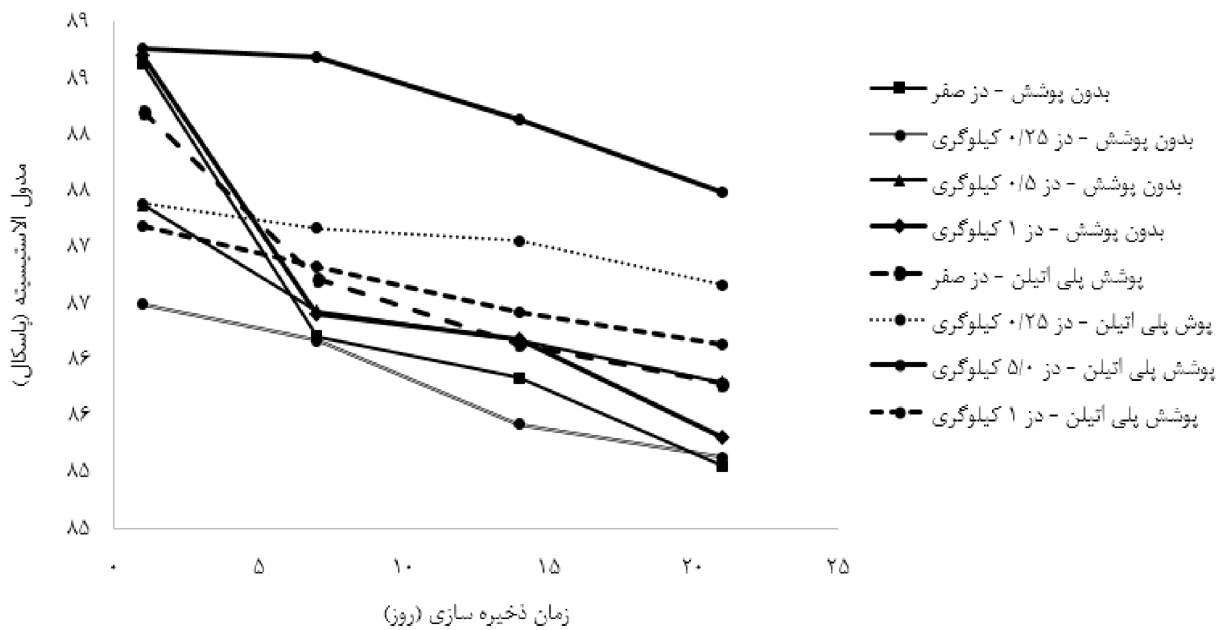
** معنی‌دار در سطح 1%، * معنی‌دار در سطح 5%، n.s عدم معنی‌داری



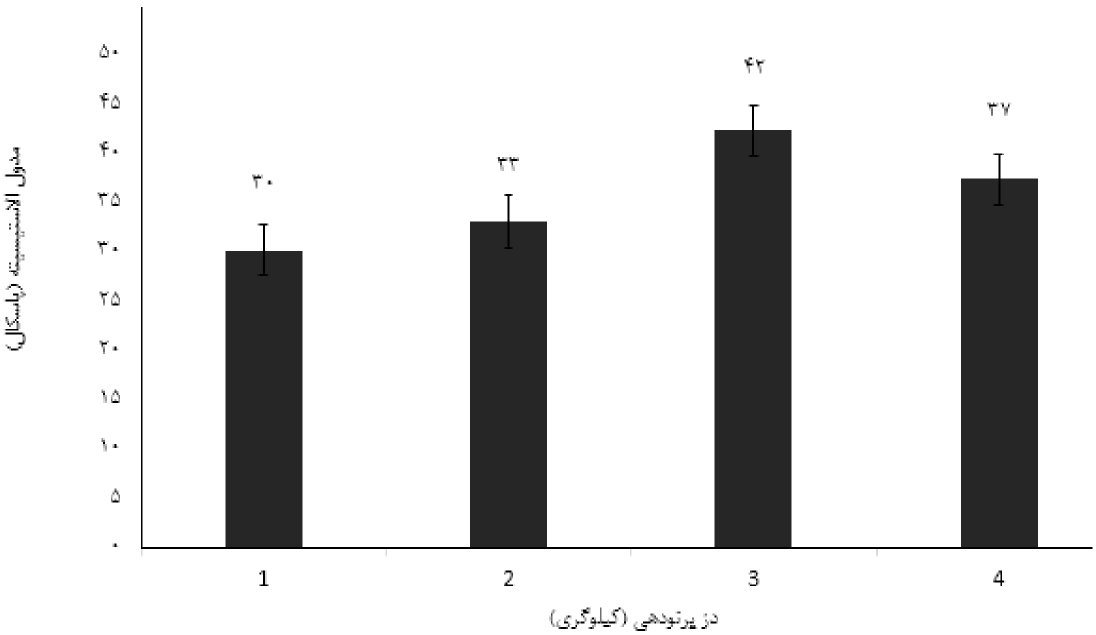
شکل1- میانگین تغییرات جرم تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن در زمان نگهداری 21 روز



شکل2- میانگین تغییرات فرکانس رزونانسی تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن در مدت زمان نگهداری 21 روز

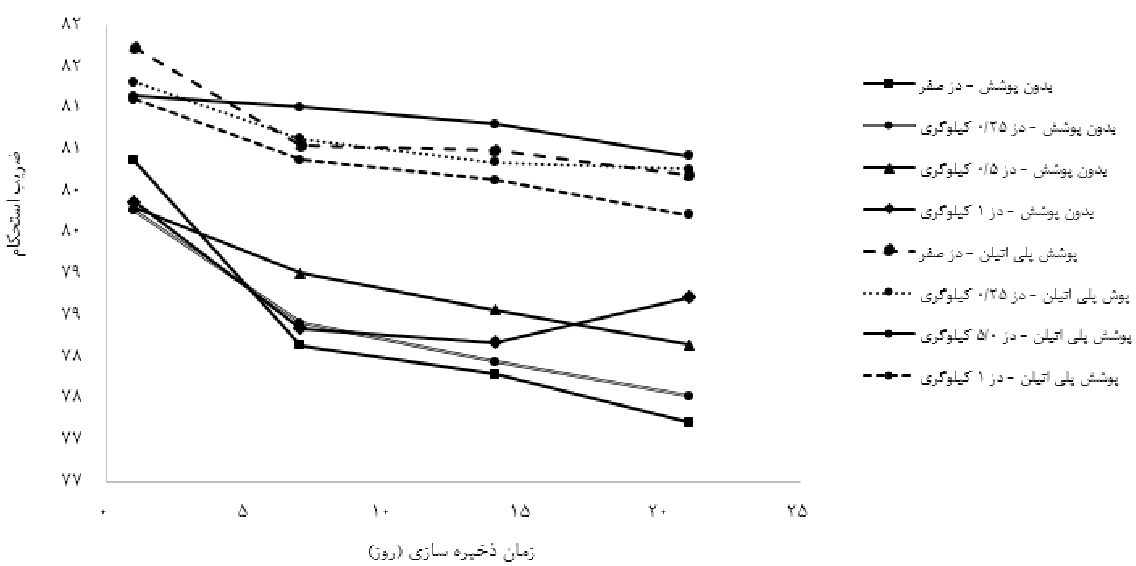


شکل3- میانگین تغییرات مدول الاستیسیته تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن دز مدت زمان 21 روز نگهداری



شکل4- میانگین تغییرات مدول الاستیسیته تحت تأثیر دز پرتودهی

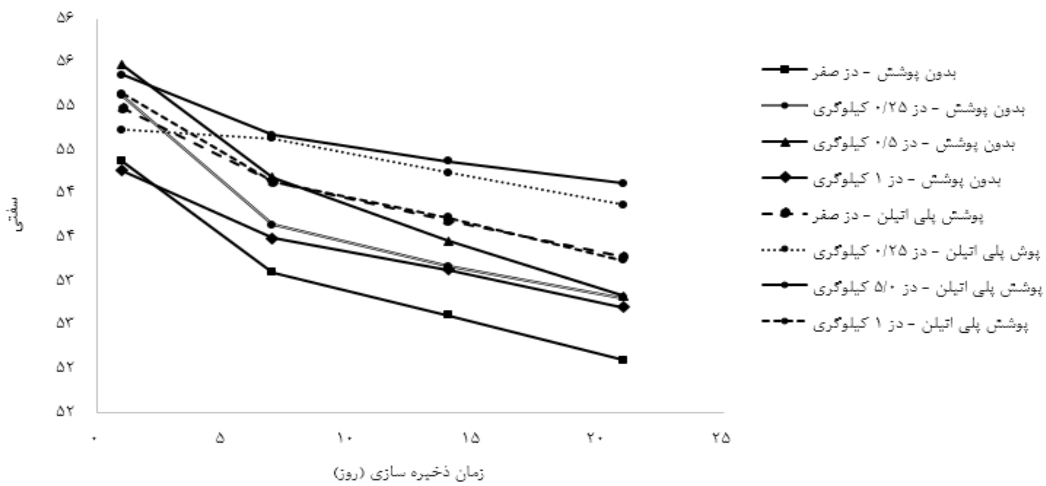
همچنین با توجه به جدول (1)، اثرات اصلی و متقابل دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن در سطح 5 درصد، اثر اصلی مـدت زمـان ذخیـره سازی در سطح 1 درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح 5 درصـد بـر روی متغیر ضریب استحکام معنی‌دار شد. با توجه به نتـایج رابطـه‌ای مستقیم بین مدول الاستیسیته، ضریب استحکام و سفتی وجود دارد و با افزایش سفتی، ضریب استحکام و مدول الاستیسـیته نیـز افـزایش می‌یابد، و وانگ و همکاران (2006) به نتـایج مشـابهی رسـیدند. بـا افزایش دز پرتودهی تا دز 0/5 کیلوگری، سفتی حفظ شده، و همچنین پوشش پلی اتیلن نیز به دلیل جلوگیری از تبخیر سطحی و حفـظ آب موجود های بین دیـواره‌هـای سـلولی سـفتی حفـظ شـده و ضـریب استحکام و مدول الاستیسیته نیز حفظ می گردد (شکل5) (Camelo and Gomez, 2004).



شکل5- میانگین تغییرات ضریب استحکام تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن در مدت زمان 21 روز نگهداری

تغییرات سفتی

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول1)، اثرات اصلی دز پرتودهی در سطح 5 درصد، اثر اصلی پوشش پلی‌اتیلن و مدت زمان ذخیره‌سازی نیز به‌ترتیب در 1 درصد و همچنین اثر متقابل آن‌ها نیز در سطح 5 درصد بر روی متغیر سفتی معنی‌دار شدند. با توجه به نتایج در دز پرتودهی 0/5 کیلوگری و به همراه پوشش پلی‌اتیلن، نمونه 25 درصد نسبت به نمونه شاهد بدون پوشش و 18/12 درصد نیز نسبت به نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و بدون پوشش پلی‌اتیلن سفتی بیشتر است. همچنین نمونه‌های پرتودهی شده با دز 1 کیلوگری در پوشش پلی اتیلن، 12/32 درصد نسبت به نمونه پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری در پوشش پلی‌اتیلن دارای سفتی کمتر است (شکل6). دلیل این امر این است که با افزایش میزان دز پرتودهی، به دلیل تلفات آب و جذب انرژی ناشی از امواج محصول نرم‌تر شده و سفتی درون بافتی را از دست می‌دهد. با گذشت زمان ذخیره سازی، بافت نمونه، سفتی اولیه خود را از دست می‌دهد. علت نرم شدن نمونه‌ها در طی مدت زمان نگهداری، پیرشدن بافت و لایه‌های بین بافتی می‌باشد که این مواد موجب تماس و چسبیدن سلول‌ها به هم می‌شوند و در نتیجه کاهش استحکام محصول را به دنبال خواهد داشت (Majzoobi *et al*., 2009).



شکل6- میانگین تغییرات سفتی تحت تأثیر دز پرتودهی و پوشش پلی‌اتیلن در مدت زمان 21 روز نگهداری

تعیین رابطه بین سفتی و فرکانس رزونانسی

نتایج حاصل از رگرسیون، همبستگی و رابطه خطی مناسب بین سفتی و فرکانس رزونانسی در گوجه‌فرنگی حاصل از اعمال ضربه و آزمون نفوذ را نشان می‌دهد. در تحقیقی که بر روی گلابی صورت گرفت بیان گردید که با افزایش جرم حجمی، میوه متراکم‌تر شده و صوت با سرعت بیشتری از میوه آن عبور می‌کند و در نتیجه فرکانس رزونانسی میوه‌ها افزایش می‌یابد (شکل7) (Gomez *et al*., 2005). رابطه بین سفتی و فرکانسی رزونانسی در تیمار پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری در پوشش پلی‌اتیلن که دارای بهترین نتایج بود به صورت جدول (2) بیان شده است.

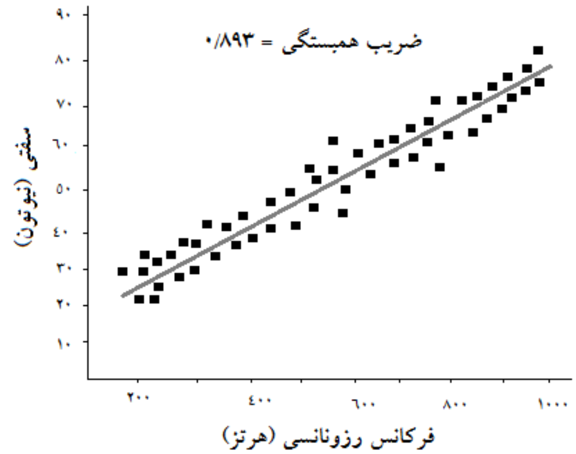
تعیین رابطه بین سفتی و ضریب استحکام

با توجه به نتایج رابطه‌ای مستقیم و خطی بین سفتی حاصل از آزمون نفوذ و ضریب استحکام بدست آمده از آزمون ضربه؛ و به دلیل رابطه مستقیم ضریب استحکام با مجذور فرکانس رزونانسی؛ با افزایش ضریب استحکام، سفتی نیز افزایش یافت. همچنین محققان نیز گزارش دادند که با افزایش سفتی میزان ضریب استحکام افزایش یافته است (Gomez et al., 2005). با توجه به نتایج رابطه بین سفتی و ضریب استحکام برای نمونه گوجه فرنگی پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن در جدول (3) بیان شده است.

جدول 2- مدل‌های رگرسیونی با ضرایب آماری رابطه بین سفتی و فرکانس رزونانسی برای نمونه قرار داده شده در پوشش پلی‌اتیلن

تیمار	مدل	همبستگی
کنترل (0 کیلوگری)	$F = 0.963 . f + 2.39$	$R = 0.739$
0/25 کیلوگری	$F = 0.870 . f + 2.51$	$R = 0.801$
0/5 کیلوگری	$F = 0.102 . f + 3.06$	$R = 0.893$
1 کیلوگری	$F = 0.703\ f + 2.16$	$R = 0.810$

F= سفتی (نیوتون) و f= فرکانس رزونانسی (هرتز)



شکل7- نمونه‌ای از نمودار رابطه فرکانس رزونانسی و سفتی در نمونه‌های گوجه فرنگی پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و پوشش پلی اتیلن

جدول 3– مدل‌های رگرسیونی با ضرایب آماری رابطه بین سفتی و ضریب استحکام برای نمونه قرار داده شده در پوشش پلی‌اتیلن

تیمار	مدل	همبستگی
کنترل	$F = 0.00012 .SC^2 + 0.000038\ SC + 0.79$	$R = 0.853$
0/25 کیلوگری	$F = 0.00043 .SC^2 + 0.000103\ SC + 2.67$	$R = 0.809$
0/5 کیلوگری	$F = 0.00053 .SC^2 + 0.00041\ SC + 3.78$	$R = 0.913$
1 کیلوگری	$F = 0.00013 .SC^2 + 0.00009\ SC + 2.06$	$R = 0.880$

F= سفتی (نیوتون) و SC= ضریب استحکام

تعیین رابطه بین سفتی و مدول الاستیسیته

با افزایش سفتی، میزان مدول الاستیسیته نیز افزایش یافت و رابطه‌ای خطی بین این دو پارامتر وجود دارد. رابطه بین سفتی و مدول الاستیسیته برای نمونه گوجه‌فرنگی پرتودهی شده با دز 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن در جدول (4) بیان شده است.

جدول 4– مدل‌های رگرسیونی با ضرایب آماری رابطه بین سفتی و مدول الاستیسیته برای نمونه قرار داده شده در پوشش پلی‌اتیلن

تیمار	مدل	همبستگی
کنترل	$F = 0.000050 .EC^2 + 0.00031 .Ec + 3.10$	$R = 0.851$
0/25 کیلوگری	$F = 0.000017 .EC^2 + 0.00048 .Ec + 2.19$	$R = 0.837$
0/5 کیلوگری	$F = 0.000081 .EC^2 + 0.00070 .Ec + 4.79$	$R = 0.886$
1 کیلوگری	$F = 0.000073 .EC^2 + 0.00050 .Ec + 3.64$	$R = 0.784$

F= سفتی (نیوتون) و EC= مدول الاستیسیته

نتیجه‌گیری

پرتودهی کاربردهای مختلفی در صنعت غذا داشته و در افزایش صادارت محصولات غذایی نقش عظیمی را داراست. با توجه به یافته‌های تحقیق نمونه پرتودهی شده با دز پرتودهی با 0/5 کیلوگری و در پوشش پلی‌اتیلن دارای بهترین نتایج بوده است.

ترکیب پوشش پلی‌اتیلن به همراه دز پرتودهی 0/5 کیلوگری بر روی تغییرات جرم و جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه دارای بهترین نتایج بود.

ترکیب پوشش پلی‌اتیلن به همراه زمان ذخیره‌سازی 21روز بر روی تغییرات جرم و جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه، تغییرات حاصل از ذخیره‌سازی را کاهش داده است.

ترکیب زمان ذخیره‌سازی 21روز و دز پرتودهی 0/5 کیلوگری بر روی تغییرات جرم و جرم حجمی، ضریب استحکام، فرکانس رزونانسی، مدول الاستیسیته و سفتی حاصل از آزمون ضربه را حفظ کرده است.

تأثیر ترکیبی سه‌گانه پوشش پلی‌اتیلن، زمان ذخیره‌سازی 21 روز

و دز پرتودهی 0/5 کیلوگری بر صـفات انـدازه‌گیـری یادشـده دارای بهترین نتایج بوده و کیفیت را افزایش داده است.

با توجه به نتایج تحقیق، با پرتودهی نمونه گوجـه‌فرنگـی بـا دز مناسب 0/5 کیلوگری و با استفاده از پوشش پلی‌اتیلن می‌توان آن را با تغییرات کمی در سفتی و بافت برای مدت زمان 21 روز و شاید بیشتر نگهداری کرد، که این موجب افزایش عمر ماندگاری در انبار، کاهش هزینه‌های نگهداری در انبار به روش‌های متعارف و افزایش صادرات می‌گردد.

منابع

اهری‌مصطفوی، ه.، میرمجلسی، م.، میرجلیلی، م.م.، فتح‌اللهی، ه.، منصوری‌پور، م.و بابائی، م، 1390، تأثیر پرتودهی گاما بر رشد باکتری پتـی سالیم آکیانسیم در پس از برداشت محصولات. مجله علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، دوره4، شماره 58، 49-54.

Bruna, J.E., Peñaloza, A., Guarda, A., Rodríguez, F. & Galotto, M.J,2012, Development of MtCu2+/LDPE nanocomposites with antimicrobial activity forpotential use in food packaging. *Applied Clay Science*, 58, 79-87.

Camelo, A.F.L. & Gomez, P.A, 2004, Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, *Brasília*, 22 (3):.534-537.

Cooke, J. R., Rand, R. H, 1973, A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a 3-media elastic sphere model. *Journal of Agricultural Engineering*, 18: 141–1

Diezma-Iglesias, B., Ruiz-Altisent, M. & Barreiro. P, 2004, Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosystems Engineering 88*: 221-230.

FAO, 2014. www.Faostat.org

Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. & Soleimanian-Zad, S, 2011, Effect of nano composite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice. *Food Control*, 22(3-4), 408-413.

Galili, N., & De Baerdemaeker, J, 1996, Performance of acoustic test methods for quality evaluation of agricultural products. In: ISMA Conference, *Leuven*, Belgium.

Gomez, A. H., Wang, J., & Pereira, A.G, 2005, Impulse response of pear fruit and its relation to Magness -Taylor firmness during storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 35: 209–215.

Kader, A. A., & Watkins, C. B, 2000, Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. Hort. *Technol*. 10(3):483–6.

Lai, A., Santangelo, E., Soressi, G.P. & Fantoni, R, 2007, Analysis of the main secondary metabolites produced in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) epicarp tissue during fruit ripening using florouscence techniques.

Majzoobi M., Farahnaky, A. & Ostovan. R, 2009, Effect of microcrystalline cellulose and hydroxyl propyl methyl cellulose on the properties of dough and flat bread (Iranian Barbari bread). *Iran Agricultural Research*.

Mami, Y., Peyvast, G., Ziaie, F., Ghasemnezhad, M., & Salmanpour, V, 2014, Improvement of shelf life and postharvest quality of white button mushroom by electron beam irradiation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1673-1681.

Mawahib Y. Adam, Hind A. & Elbashir Abdel Halim. R, 2014, Effect of Gamma Radiation on Tomato Quality during Storage and Processing. *Journal of Biological Sciences*, 6(1): 20-25.

Polder, G., VanDerHeijden, G.W.A.M Young, I.T, 2002, Spectral image analysis for measuring ripeness of tomatoes. *Transactions of the ASAE*, 45(4): 1155-1161.

Rosenthal, A.J, 1999, Relation between instrumental and sensory measures of food texture, in Food texture: measurement and perception (ed. A.J. Rosenthal), Aspen Publishers, Inc., *Maryland*, pp.1-17.

Sami, S. & Masoud T, 2007, Effect of different packaging systems on storage life and quality of tomato (Lycopersicon esculentum var. Rio Grande) during different ripening stages. *Internet Journal of Food Safety*, Vol.9, 2007, p. 37-44.

Shmulevich, I., Galili, N. Howarth. M. S, 2003, Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 29: 2287-299.

Studman, C. J, 2001, Computers and electronics in postharvest technology- A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 30: 109-124.

Sun, T., huang, K. Xu H. Ying, Y, 2010, Research advance in nondestructive determination of internal quality in watermelon/melon: A review. *Journal of Food Engineering* 100: 569-577.

Tamure, C., & Teryaki, O, 2012, Irradiation alone or combined with other alternative treatment to control postharvest diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 421-434.

Wang,J., Teng, T., & Yu, Y, 2006, The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach.*Food Control*, 17: 353–358.

Yurttas, Z. S., Moreira, R. G., & Castell-Perez, E, 2014, Combined vacuum impregnation and electron-beam irradiation treatment to extend the storage life of sliced white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Science*, 79(1), 39-46.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 1, Apr. May. 2018, p. 48- 58

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 1، فروردین-اردیبهشت 1397 ص. 58-48

Firmness evaluation of irradiated tomato in combination with Polyethylene coat using Acoustic technique

H. A. Tash-Shamsabadi[1*], S.H. Yoosefian[2], A. Mohammad-Razdari[3]

Received: 2016.09.14
Accepted: 2017.01.05

Introduction: Tomato is one of the most important vegetable crops in Iran and is grown commercially in every state in the country. Tomatoes are climacteric in nature and climacteric fruits submitted to gamma irradiation exhibit a delay of ripening. In the specific case of tomatoes, irradiation generally delays ripening when the treatment is applied at the pre-climacteric stage. Mechanical properties are very important quality property in tomato. Determination of the storage time effect on the evolution of this quality is a desirable objective for producers, distributors and marketing agencies, who need reliable firmness measuring instruments for commercial purpose. Previous studies carried out by different researchers show that impact techniques can be used to evaluate firmness of fruits successfully. Quick and nondestructive methods for measuring texture are critical for controlling postharvest quality of crops and fruits. Polymer films are ubiquitous in the food industry, fulfilling a range of functions including a significant role in reducing food waste. Also, it can be possible to extend shelf-life with some coatings, including polymer films.

Materials and Methods: In this study, tomatoes were irradiated in Atomic Energy Organization of Iran. For irradiation of samples, cobalt 60 (Gamma Cell 220) was used. The samples were irradiated with doses of 0 (control), 0.25, 0.5 and 1 kG, then transferred to the laboratory and kept in a refrigerator at 6 ± 1 ° C and 65 ± 4% relative humidity for 21 days. In order to pack, polyethylene film with medium density (thickness of 0.3 mm and depth and width, respectively, 6.5 and 19 cm) were obtained from the Iranian Polymer Research Institute. Experiments were performed on samples coated with polyethylene film in 7 days intervals. Acoustic tests were performed using Impact Test System. The system was covered with aluminum chamber and inside with wood and clouds. The system was internally equipped with the sample location on the floor, the impact mechanism and the receiver of the signal. In this audio excitation system, samples were taken with the help of a blow. By applying a blow to the sample surface, the audio signal was sent to the sample and then measured by a receiver placed at a distance of 7 mm from the sample. The experiments were performed every 7 days. During the experiment period, the physical and mechanical properties of the samples were measured. Data were analyzed using SPSS.20 software. Correlation between hit parameters and firmness of penetration test were checked out using regression in Excell .2013 software, and predicted a suitable model for determining the firmness of tomato.

Results and Discussion: The results showed that after 21 days of storage time, the amount of mass and density for irradiated sample with a 0.5 kGy dose in polyethylene film compared to control sample (uncoated) decreased to 22.53 and 12.34 %, respectively, and had more resonant frequency to 26.58%. Also, irradiated sample with a 0.5 kGy dose in polyethylene film compared to samples irradiated with doses of 1 kg and non-irradiated samples in polyethylene film had higher modulus of elasticity and firmness to 37.74, 26.48 % and 25% and 18.12%, respectively. The maximum penetration force in destructive testing had strong relationship with the parameters obtained from Acoustic test such as resonant frequency, Strength index and Modulus of elasticity with a correlation coefficient to 0.893, 0.913 and 0.886, respectively. Combination of polyethylene film with 0.5 kG irradiation on the changes in mass and volume, strength coefficient, resonance frequency, elasticity modulus and rigidity obtained from the impact test have the best results. Also, combination of polyethylene coating and 21-day storage time on mass and volume changes, strength coefficient, resonant frequency, elasticity modulus and stiffness from the impact test reduced the storage performance. According to the results of this study, by irradiation of a sample of tomatoes with a 0.5 kG and using a polyethylene film, it can be stored with a slight change in stiffness and texture for a period of 21 days, and possibly more, which causes increase the shelf-life in

1. Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Graduated Master Student, Department of Biosystem Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Ph.D. student, Department of Biosystem Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
(*Corresponding Author Email: h.shamsabadi.gu@gmail.com)

the warehouse, reduce storage costs in the warehouse by conventional methods and increase the possibility to export. As a summing up, irradiation in combination with Polyethylene films is a good way to preserve tomatoes tissue and Acoustic textures is a useful way to be replaced with Penetration test.

Keywords: Acoustic, Gamma Irradiation, Polyethylene, Firmness, Tomatoes.